韓國컴퓨터情報學會 論文誌
第14卷 第11號, 2009. 11.

2009-14-11-4-5

퍼지이론과 베이지안 갱신 기반의 과거 주행정보를 이용한 차량항법 장치의 교통상황 예측과 최적경로 계획

정 상 준*, 허 용 관**, 조 한 무***, 김 종 진****, 최 슬 기*****

Fuzzy Theory and Bayesian Update-Based Traffic Prediction and Optimal Path Planning for Car Navigation System using Historical Driving Information

Sang-Jun Jung*, Yong-Kwan Heo**, Han-Moo Jo***, Jong-Jin Kim****, Sul-Gi Choi*****

요 약

경제가 성장함에 따라 자동차는 현대인의 생활에 많은 영향을 끼치고 있다. 차량항법장치는 운전자에게 목적지까지의 경로를 안내해 주기 때문에 많은 편의를 제공하고 있다. 그러나 개인의 차량 소유가 대중화됨에 따라 교통혼잡이 발생하지만 차량항법장치는 환경을 고려하지 않는 일방적인 경로를 계획한다. 기존의 차량항법장치는 시간대와 상관없이 출발지와 목적지만 같으면 항상 동일한 경로와 소요시간을 제공하는 한계를 가지고 있다. 본 논문에서는 누적된 과거의 주행정보를 퍼지이론과 베이지안 갱신에 적용하여 교통상황을 예측하고 경로 계획에 반영하는 방법을 제안한다. 퍼지 이론을 통해 과거 주행정보의 출발 시간대와 속도율로 분류하고 베이지안 갱신을 사용하여 각 시간대에서 벌어질 교통상황을 확률로 계산한다. 전자지도에서 출발지와 목적지를 포함한 타원관심영역을 설정하고 Dijkstra와 A* 알고리즘을 융합하여 교통상황을 고려한 최적의 경로를 계획한다. 제안한 알고리즘의 성능과 정확성은 계획된 경로를 실제 주행함으로써 예측된 소요시간과 실제 주행시간을 비교하여 검증하였다.

Abstract

The vehicles play a significant role in modern people's life as economy grows. The development of car navigation system(CNS) provides various convenience because it shows the driver where they are and how to get to the destination from the point of source. However, the existing map-based CNS does not consider any environments such as traffic congestion. Given the same starting point and destination, the system always provides the same route and the required time.

• 제1저자 : 정상준
• 투고일 : 2009. 09. 14, 심사일 : 2009. 10. 19, 게재확정일 : 2009. 10. 29.
* LIG넥스원 주임연구원 ** LIG넥스원 선임연구원 *** LIG넥스원 선임연구원 **** LIG넥스원 책임연구원
***** LIG넥스원 연구원

This paper proposes a path planning method with traffic prediction by applying historical driving information to the Fuzzy theory and Bayesian update. Fuzzy theory classifies the historical driving information into groups of leaving time and speed rate, and the traffic condition of each time zone is calculated by Bayesian update. An ellipse area including starting and destination points is restricted in order to reduce the calculation time. The accuracy and practicality of the proposed scheme are verified by several experiments and comparisons with real navigation.

▸ Keyword : 퍼지이론(Fuzzy theory), 베이지안 갱신(Bayesian update), 경로계획(Path planning)

Ⅰ. 서 론

과거의 자동차는 단순한 운송수단이었다. 그러나 삶의 질이 높아지면서 자동차는 단순한 이동목적이 아닌 운전자에게 여러 가지 편의장치를 제공하는 추세로 변하고 있다. 초행길 운전은 숙련된 운전자도 지도와 이정표만으로 목적지에 도달하는 것은 쉽지 않다. 그래서 군사용으로 사용하던 GPS(Global Positioning System)가 일반인들에게 공개됨에 따라 이런 어려움을 해결하기 위해 차량 항법 장치(Car Navigation System)가 등장하였다. GPS는 GPS 위성에서부터 수신된 신호의 시간(Time of Flight)차이를 조합하여 현재 위치 정보인 위도, 경도, 고도와 시간을 제공한다.

차량항법장치의 소프트웨어는 크게 건축물, 도로, 교차로 등의 정보를 가진 전자지도 데이터베이스와 경로계획 알고리즘으로 구성된다. GPS로부터 계산된 위치정보를 전자지도에 반영하고, 경로계획 알고리즘을 통해 전자지도의 현재위치에서 목적지까지의 경로를 계획하고 소요시간을 예측한다. 이와 같은 기능으로 인해 운전자는 목적지까지 실시간으로 경로를 안내 받을 수 있다.

경제발전과 더불어 자동차의 수요가 늘어남에 따라 교통 혼잡이 발생하게 되어 TTI(Traffic and Traveler Information) 서비스가 개발되었다[1][2]. TTI는 ITS(Intelligent Transport system) 또는 기관에서 수집된 교통정보를 통해 차량의 흐름을 파악하여 실시간으로 제공하는 서비스이다[3]. TTI기반의 경로계획은 외부 네트워크에서 수집된 정보를 통해 교통량이 적은 경로를 계획할 수 있지만 금전적인 비용을 지불해야 하기 때문에 대부분의 운전자는 지도기반의 경로계획을 사용하고 있다. 그러나 지도기반의 경로계획은 실제 교통 환경을 고려하지 않아서 일방적인 경로를 계획한다. 예를 들면, 교통량이 많은 출퇴근 시간대와 교통이 원활한 심야 시간대에서 경로를 계획할 경우 도로의 상태, 순위와 같은 고정된 전자지도 데이터베이스의 정보를 사용하기 때문에 두 경우 모두 동일한 경로와 소요시간을 제공한다.

본 논문에서는 운전 중에 획득한 주행정보를 전자지도 데이터베이스에 반영하고 환경에 맞는 경로와 소요시간을 예측하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 그림 1과 같이 교통량 예측과 경로계획으로 나눌 수 있다. 교통량 예측은 누적된 주행정보를 퍼지이론과 베이지안 갱신에 적용하여 교통상황을 예측하는 방법이고 경로계획은 예측된 교통상황을 Dijkstra와 A* 알고리즘에 반영하여 최적의 경로를 계산하는 방법이다[4][5][6][7].

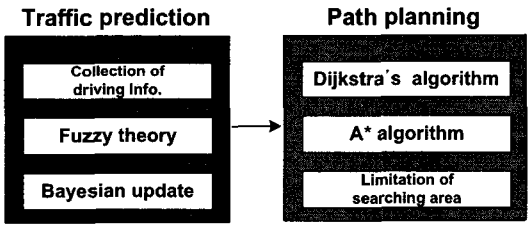

그림 1. 경로계획을 위한 교통상황 예측 알고리즘
Fig. 1. Traffic prediction algorithm for path planning

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 교통상황 및 주행시간 예측에 대한 관련 연구를 기술하고, 3장은 퍼지 이론과 베이지안 갱신을 사용한 교통상황 예측을 제안한다. 4장에서는 3장에서 예측된 교통상황을 반영한 경로를 계획하는 방법을 설명하고, 5장에서 실험을 통해서 성능을 검증한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

최적의 경로를 계획하기 위해서는 도로의 상황을 예측하는 알고리즘이 필요하다. 도로와 주행시간을 예측하는 방법은 교통공학 관점에서 활발하게 연구되고 있다.

TPEG(Transport Protocol Expert Group)은 인터넷이나 DMB(Digital Multimedia Broadcasting)를 매체로

교통정보를 전송하는 형식이다[8][9]. TPEG의 교통정보를 수집하는 대표적인 방식으로 RF비콘 방식과 GPS 지도 정합 방식으로 분류할 수 있다.

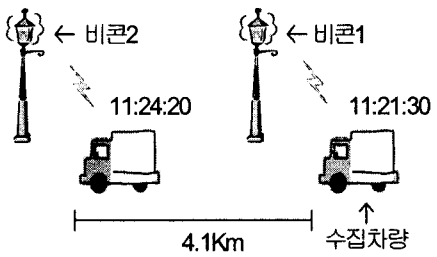

그림 2. 비콘을 이용한 TPEG의 교통상황 수집
Fig. 2. Traffic collection of TPEG using Beacon

그림 2의 RF비콘 방식은 비콘이 설치된 두 영역을 교통정보 수집 차량이 순차적으로 지나가면서 발생하는 시간의 차이를 기지국으로 송신하는 방법이다. GPS 지도 정합 방법은 정보수집 단말기에 내장된 전자지도에 GPS로부터 수신된 차량 위치를 매칭하여 교차로를 통과할 때 기간 통신망을 이용하여 주행정보를 송신하는 방법이다. TPEG의 교통량을 예측하는 방법은 수집구간의 범위가 작아서 도심의 경우 우수한 성능을 보이지만, 외곽지역은 비용문제로 인해 성능을 보장 받을 수 없다.

또 다른 방법으로 칼만필터를 사용하여 경로통행시간을 예측할 수 있다[10]. 이 방법은 첨단 교통 정보 시스템(Advanced Traveler Information System)이 운전자에게 전달되기까지의 시간 차이를 고려하여 칼만필터를 통해 경로통행시간의 예측 모형을 구축하였다. 5분 단위의 시간대별 평균시간과 요일 특성, 기상특성을 칼만필터의 입력데이터로 사용하였다. 초기수렴시간 전까지 오차가 발생하였으나 수렴이후에는 안정적으로 주행시간을 예측하는 결과를 보여 주었다.

데이터마이닝의 규칙-기반 분류화 기법을 사용하여 주행시간을 예측하는 방법이 있다[11]. 이 방법은 과거의 주행정보로부터 주중과 주말을 분리하여 임의로 정한 시간대별 교통량을 예측하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 경우 속도등급과 시간대를 고정시키므로 다양한 도로환경을 반영하지 못하고, 정해진 시간대의 경계에 있는 주행정보가 제대로 분류가 되지 않을 위험성을 가지고 있다.

III. 과거 주행정보를 이용한 교통상황 예측

그림 3에서 교차로와 같은 점을 노드(node)라 하고 노드와 노드사이의 도로를 링크(link)라고 정의한다.

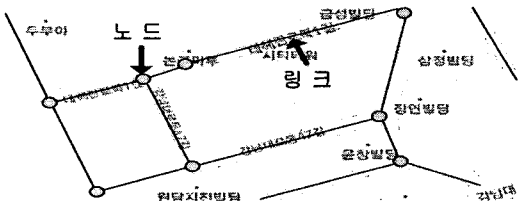

그림 3. 노드와 링크
Fig. 3. Node and link

운전자가 주행을 하게 되면 차량항법장치는 GPS로부터 수신된 차량의 위치정보를 전자지도 좌표에 투영하여 노드를 통과할 때마다 링크의 소요시간을 데이터베이스에 기록한다. 본 논문에서는 데이터베이스에 각 링크마다 누적된 과거의 주행정보를 퍼지이론과 베이지안 갱신 기법에 적용하여 교통상황 예측방법을 제안한다.

3.1 퍼지이론을 이용한 주행정보 분류

기존의 컴퓨터의 처리방법은 흑,백과 같이 이분법적으로 처리를 했지만 이 경우 흑과 백사이의 정보가 손실되는 문제가 있었다. 퍼지이론은 현상을 0과 1로만 구분하지 않고 모호한 중간의 값을 인정하는 개념에서 시작되었다. 그래서 정량화하기 어려운 애매함과 불확실한 정보를 사람의 뇌와 같이 처리하여 문제를 해결하는 이론이다.

도로의 주행상태는 시간대에 따라 수시로 변하기 때문에 시간을 기준으로 교통상황을 예측해야 한다. 링크의 출발시간을 기준으로 임의의 정해진 시간에 따라 분류하게 되면 시간적 의미가 손실될 수 있다. 예를 들어 1시간 단위로 링크의 출발시간을 분류한다면 08시 59분은 08시 시간대에 속하고 09시 01분은 09시 시간에 속하게 된다. 이 경우 인접한 시간대임에도 불구하고 서로 다른 그룹으로 분류되는 문제점이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 퍼지 이론을 적용하여 그림 4와 같은 멤버십 함수로 구성하였다. 하루 24시간을 심야시간대, 출근시간대, 낮 시간대, 퇴근 시간대, 밤 시간대로 분류하였다.

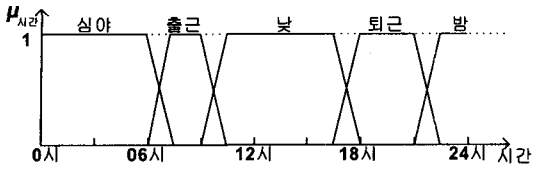

그림 4. 출발 시간의 퍼지 함수
Fig. 4. Fuzzy function for start time class

전자지도 데이터베이스는 링크의 거리를 제공한다. 그리고 차량의 주행을 통해 링크의 소요시간을 알 수 있으므로 링크를 통과하는 평균 속도를 계산할 수 있다. 각 링크마다 제한속도가 다르기 때문에 평균속도만으로 교통상황을 예측할 수 없으므로 제한속도 대비 주행속도의 비율로 교통상황을 판단한다. 이 비율 역시 정해진 임의의 값으로 분류할 경우 손실되는 정보가 있으므로 그림 5와 같이 퍼지이론을 적용하였다.

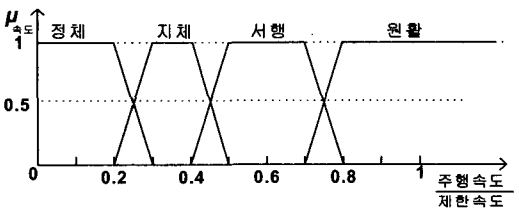

그림 5. 속도의 퍼지 함수
Fig. 5. Fuzzy function for speed rate

3.2 베이지안 갱신을 이용한 교통상황 예측

베이즈 법칙은 서로 다른 사건의 가능성과 그 기대결과를 측정하는 규칙이다. p(x)를 x가 일어날 확률이고 p(y)를 y가 일어날 확률이라고 할 때 식(1)을 베이즈 법칙이라고 한다.

$$p(x|y) = \frac{p(y|x)p(x)}{p(y)} \quad \cdots\cdots (1)$$

식(1)은 사건 y를 근거로 사건 x가 발생할 조건부 확률을 제공한다.

링크의 교통상황을 예측하기 위해 누적된 주행정보는 퍼지이론에 의해 분류하였다. 분류된 주행정보를 베이지안 갱신 공식에 적용하면 식(2)와 같이 도출할 수 있다.

$$P(s(R_t) = X|[I]_{c+1}) \quad \cdots\cdots (2)$$
$$= \frac{P(I_{c+1}|s(R_t) = X) \cdot P(s(R_t) = X|[I]_c)}{\sum_{s(R_t)} P(I_{c+1}|s(R_t)) \cdot P(s(R_t)|[I]_c)}$$

s(Rt)는 t시간대의 교통상황을 의미하고 X는 {원활, 서행, 지체, 정체}의 원소이다. 그러므로 P(s(Rt)=X | [I]c+1)는 c+1개수의 누적된 주행정보 데이터[I]c+1가 있을 경우 t시간대의 기대되는 교통상황 X의 확률을 의미한다. 즉 [I]c까지 누적된 주행정보에 새로운 Ic+1가 추가되었을 경우 예상되는 교통상황을 확률로써 계산할 수 있다. 만약 출발시간에 해당하는 주행정보가 없을 경우 원활, 서행, 지체, 정체에 대해 각각 25%의 기본확률을 부여함으로써 초기화한다. 식(2)의 분모는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_{s(R_t)} P(I_{c+1}|s(R_t)) \cdot P(s(R_t)|[I]_c) \quad \cdots\cdots (3)$$
$$= P(I_{c+1}|s(R_t) = \text{원활}) \cdot P(s(R_t) = \text{원활}|[I]_c)$$
$$+ P(I_{c+1}|s(R_t) = \text{서행}) \cdot P(s(R_t) = \text{서행}|[I]_c)$$
$$+ P(I_{c+1}|s(R_t) = \text{지체}) \cdot P(s(R_t) = \text{지체}|[I]_c)$$
$$+ P(I_{c+1}|s(R_t) = \text{정체}) \cdot P(s(R_t) = \text{정체}|[I]_c)$$

평일과 공휴일은 교통상황의 패턴이 다르므로 교통상황과 시간대에 대한 테이블을 구분하여 계산한다.

3.3 교통상황 예측 알고리즘을 적용한 예제

길이가 2.4km이고 제한속도는 80km/h인 자동차 전용도로가 있다고 가정할 경우 링크의 평일 주행정보는 표 1과 같다.

표 1. 링크의 주행정보
Table 1. Driving information of a link

	1	2	3	4	5	6
출발시간	07:10	18:20	14:10	15:24	17:10	08:10
소요시간(min)	7.2	9.6	2.4	2.06	3.35	12
평균속도(km/h)	20	15	60	70	43	12

	7	8	9	10	11	12
출발시간	10:15	12:03	18:02	21:20	07:32	19:11
소요시간(min)	2.62	2.06	8	2.48	7.58	6.26
평균속도(km/h)	55	70	18	58	19	23

	13	14	15	16
출발시간	16:40	02:11	09:21	13:52
소요시간(min)	2.32	1.80	4.65	2.15
평균속도(km/h)	62	80	31	67

표 1의 주행정보를 3.1절의 퍼지이론에 적용하면 표 2와 같이 구성할 수 있다.

표 2. 출발시간대와 속도율의 퍼지화
Table 2. Fuzzification of start time class and speed rate

	심야	출근	낮	퇴근	밤
원활	1	-	3.18	0.26	0.05
서행	-	0.17	3	1.16	0.05
지체	0.11	1.5	0.24	1.13	0.17
정체	0.11	1.99	-	1.88	-

식(2)의 베이지안 갱신 공식을 표 2에 적용하면 시간대의 교통상황을 예측하는 표 3의 모델이 생성된다.

표 3. 베이지안 갱신을 사용한 예상되는 교통상황
Table 3. Probability of traffic using bayesian update

	심야	출근	낮	퇴근	밤
원활	0.77	0	0.48	0.05	0.22
서행	0	0.03	0.45	0.22	0.77
지체	0.12	0.48	0.05	0.32	0
정체	0.09	0.48	0	0.40	0

만약 22시 정각에 예제의 링크를 통과할 계획이 있을 경우 퍼지이론에 의해 퇴근 시간대에 33%와 밤 시간대에 66%의 가중치가 부여된다. 시간대의 가중치를 표에 반영하면 원활, 서행, 지체, 정체에 대해 각각 17%, 58%, 11%, 13%의 확률로 예상할 수 있고, 제한속도 80km/h에 대한 원활, 서행, 지체, 정체의 기본 속도를 각각 64km/h, 40km/h, 24km/h, 16km/h로 할 경우 22시의 예측 속도는 39km/h가 된다.

IV. 최적경로 계획

4.1 타원관심영역을 이용한 탐색영역 설정

출발지와 목적지의 경로를 산정하는 과정은 출발노드를 중심으로 하는 원을 목적지까지 넓혀 가는 형태로, 목적지까지의 최소 비용을 갖는 경로가 산정되면 탐색을 종료하게 된다. 하지만 최적경로에 포함될 확률이 낮은 노드들이 탐색영역에 상당수 포함되기 때문에 이런 노드들로 인해 경로를 예측하는 연산량이 증가된다. 관심영역 설정 방법은 출발지로부터 목적지 사이에 일정한 영역을 제한하여 해당 영역에 존재하는 노드만을 검색함으로서 탐색범위를 한정하는 방법이다.

출발지와 목적지를 기준으로 최적경로가 예상되는 영역을 그림 6과 같이 사각형 또는 타원영역으로 설정할 수 있다. (b)의 타원영역은 (a)의 사각영역 보다 연산은 복잡하지만 적은 영역을 탐색할 수 있으므로 본 논문에서는 타원관심영역을 사용한다.

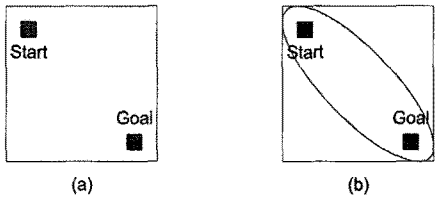

그림 6. 관심영역 기법: (a) 사각, (b) 타원
Fig. 6. Region of interest: (a) rectangle, (b) ellipse

타원 방정식은 식(4)와 같다.

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1 \quad \cdots\cdots (4)$$

a가 b보다 클 경우 그림 7과 같이 a는 장축을 의미하고, b는 단축으로 표현할 수 있으므로 타원의 크기와 형태는 a와 b의 조합으로 결정된다. s는 출발지와 목적지의 거리를 의미하기 때문에 고정된 값이므로 a는 d에 의해 결정되고, b는 운행중 좌우로 갈 수 있는 범위를 나타내며 d값에 상수 k를 곱한 것으로 정의한다. 최종적으로 타원은 목적지의 반대 방향으로 갈 수 있도록 허용하는 거리 d와 상수 k에 의해 결정된다.

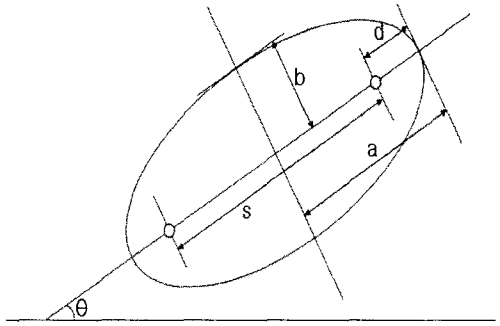

그림 7. 타원 관심영역의 계수
Fig. 7. Parameters for elliptical RoI

출발지 좌표(sx, sy)와 목적지 좌표(gx, gy)를 연결하는 선분이 수평선과 이루는 각을 θ라고 하면 식(5)을 통해 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{gy - sy}{gx - sx}\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

네트워크의 모든 노드가 타원영역 내에 존재하는지 여부를 확인해야 한다. 임의의 노드(tx, ty)를 식(6)과 식(7)에 따라 타원의 중점(cx, cy)과 θ로 좌표를 변환할 수 있다.

$$x = (tx - cx) \times \cos\theta + (ty - cy) \times \sin\theta \quad \cdots\cdots (6)$$

$$y = (ty - cy) \times \cos\theta + (tx - cx) \times \sin\theta \quad \cdots\cdots (7)$$

따라서 변환된 좌표(x, y)는 식(8)을 통해 타원영역 내에 존재하는지 확인할 수 있다. 참일 경우 타원영역에 존재하므로 해당 노드는 경로계획에서 탐색노드로 사용되지만, 거짓이라면 경로계획에서 제거된다.

$$\frac{x^2}{(s/2+d)^2} + \frac{y^2}{(kd)^2} \leq 1 \quad \cdots\cdots (8)$$

4.2 예측된 교통상황을 적용한 최적경로 계획 알고리즘

Dijkstra's 알고리즘은 최단거리의 경로를 계획할 수 있는 장점을 가지고 있으나 목적지의 방향을 고려하지 않기 때문에 모든 노드를 탐색해서 연산량이 많아지는 단점을 가지고 있다[12]. 반면에 A*알고리즘은 목적지에 대한 방향성을 가지고 있어서 목적지에서 멀어지는 노드를 검색하지 않기 때문에 탐색속도를 줄이는 장점을 가지고 있다[13]. 그러나 Dijkstra's 알고리즘이나 A* 알고리즘을 이용하여 최적경로를 찾을 경우 고정된 시간이나 도로상의 구간별 거리와 같이 사전에 계산되어 있는 링크의 비용만을 가지고 최적경로를 계산한다.

본 논문에서는 표 3과 같은 교통상황예측 정보를 링크의 비용 계산에 추가로 반영하여 최적경로를 탐색하는 Dijkstra와 A*를 융합한 TA* 알고리즘을 제안한다. TA* 알고리즘은 경로를 탐색해 나가는 과정에서 각 구간의 통과시점과 이에 따른 구간별 예상 소요시간을 링크의 비용으로 누적하여 계산함으로써 운전자가 운행하게 될 시간대와 운행구간의 실제 교통상황이 반영된 최적경로를 탐색할 수 있다. 본 알고리즘은 방향성을 가지므로 양방향 탐색 알고리즘은 적용할 수 없다. TA* 알고리즘의 최적경로 탐색과정은 다음과 같다.

(1) 교통상황 예측함수 F는 표3과 같은 교통상황예측 데이터를 이용하여 시간을 입력받아 시간대별 확률에 따라 예측한 속도를 반환하는 함수이다.

(2) 출발지 노드는 s, 목적지 노드는 d이다.

(3) 각 링크의 비용을 초기화하여 인접행렬 A에 저장한다. 여기서 비용은 거리이다.

(4) s를 원소로 가지는 집합 S와 s를 제외한 나머지 모든 노드들을 원소로 가지는 집합 D를 정의한다. D의 원소 개수는 가변적이며 D의 노드 개수가 n일 때 D의 노드들은 w1~wn이다.

(5) s로부터 D의 모든 노드들까지의 거리를 A로부터 구하고 함수 F에 출발시간을 입력하여 각 구간별 예상속도를 구한다. 거리와 속도를 이용하여 구간별 예상소요시간을 계산하고 배열 C에 저장한다.

(6) s로부터 w1~wn까지의 비용, 즉 C[w1]~C[wn]에 저장되어 있는 시간에 w1~wn에서 d까지의 직선거리를 주행 가능한 최고속도를 이용하여 각각 시간으로 환산하여 더한다.

(7) (6)에서 계산한 값들 중에서 최소 비용을 가지는 노드 v를 구하여 D에서 제거하고 S에 추가한다.

(8) s로부터 w1~wn까지의 누적시간 C[w1]~C[wn]를 구한다.

(9) v로부터 w1~wn 구간의 거리 A[v][w1]~A[v][wn]을 구한다. 출발시간에 s로부터 v까지의 누적시간을 더한 값인, 운행 중 v까지 도달 시의 예상시간을 함수 F에 입력하여 예상속도를 구한다. 구간별 거리 A[v][w1]~A[v][wn]와 구간별 예상속도를 이용하여 v로부터 w1~wn 각각의 구간별 소요시간을 계산하고 v까지의 누적시간 C[v]를 더한다.

(10) w1~wn 각각의 노드별로 (8)과 (9)의 계산값을 비교하여 (9)의 값이 (8)의 값보다 작은 경우, 해당 노드 wi에 대한 누적비용 C[wi]를 (9)의 값으로 갱신한다.

(11) (6)~(10)의 과정을 D가 공집합이 될 때까지 반복한다. (7)에서 v=d일 때 탐색을 종료하며 출발지에서 목적지까지의 최적경로가 구해진다.

V. 실험 및 결과

5.1 소프트웨어 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 소프트웨어 설계패턴 중의 하나인 전략패턴(Strategy pattern)을 사용하여 설계하였다. 전략패턴은 알고리즘을 캡슐화하여 수정과 상호대체가 가능하도록 설계하여 알고리즘을 사용하는 클라이언트와 독립하는 방법이다. 차량항법장치의 경로계획 알고리즘은 성능개선으로 인해 정기적으로 갱신을 해줘야 하므로 경로계획을 전략패턴 기반으로 그림 8과 같이 설계하였다.

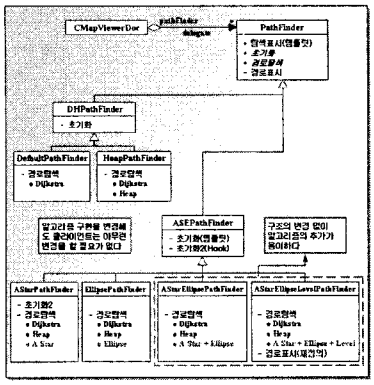

그림 8. 전략 패턴으로 설계된 구조
Fig. 8. designed architecture by strategy pattern

알고리즘의 구현은 Visual C++과 STL Library, MS-SQL RDBMS를 이용하여 Standalone 소프트웨어로 개발하였고, 그림 9는 구현된 소프트웨어의 GUI이다.

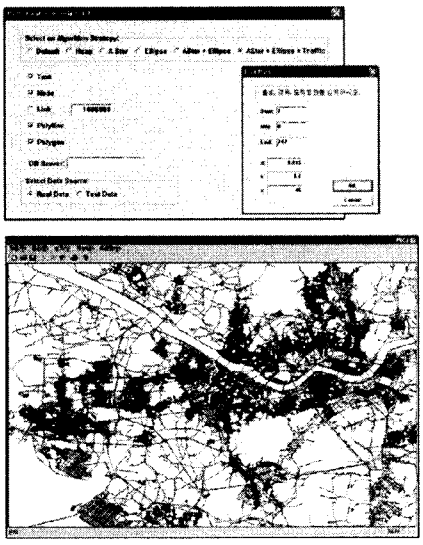

그림 9. 경로계획 GUI
Fig. 9. Path planning GUI

5.2 실험 및 결과분석

본 논문의 실험을 위해 GPS 수신기 일체형 PDA인 로알텍社의 RTW-1000모델을 사용하였다. 그림 10의 단말기는 헬리컬 GPS 안테나를 사용하기 때문에 안테나의 방향이나 흔들림 없이 모든 방향의 신호를 수신할 수 있어서 교통정보를 수집하는 목적으로 적합하다.

RTW-1000
OS: Windows mobile 2003
CPU: Samsung S3C2410
Memory: 64MB
GPS: SiRF II LP chipset

그림 10. 실험 장비
Fig. 10. Experimental equipment

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 누적된 주행정보의 개수에 따른 성능과 최적의 경로계획에 따른 구간별 소요시간을 비교하였다. 주행정보의 개수에 따른 성능은 누적된 주행정보의 개수 변화에 따라 성능에 미치는 영향을 파악하고, 구간별 소요시간은 교통상황을 예측하여 생성된 최적의 경로가 실제 주행환경을 반영하는지 확인한다.

주행정보의 개수는 교통상황을 예측하는데 중요한 요소이다. 본 실험은 대전의 궁동사거리에서 충남대학교 동물병원까지의 도로에서 수행하였다. 이 도로는 6개의 노드와 5개의 링크로 구성되어 있으며, 약 1.5km의 길이와 시속 70km/h를 최대 속도로 제한하고 있다. 주행정보 개수에 따라 10회씩 다양한 시간대에서 실험을 하였다. 실험결과인 그림 11의 점선은 예측시간과 실제 소요시간의 10회 실험에 대한 평균이고, 실선은 예측시간과 실제 소요시간의 차에 대한 표준편차이다. 즉, 실선의 값이 클 경우 예측시간과 소요시간의 차이가 크다는 것을 의미한다. 주행 정보가 전혀 없는 경우에는 평균 예측시간이 177초로 고정되지만 주행정보의 개수가 늘어남에 따라 가변적으로 변하는 것을 알 수 있다. 그리고 예측시간과 소요시간의 차이에 대한 표준편차도 수렴되어 주행정보가 30개 이상이되면 안정화 되는 것을 확인할 수 있다.

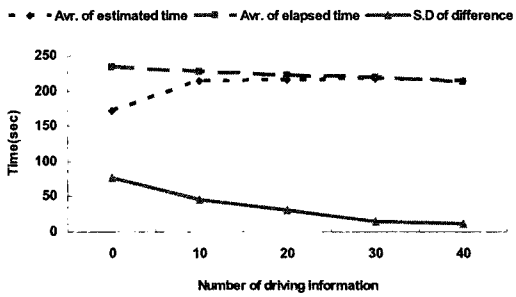

그림 11. 주행 정보의 개수에 따른 결과
Fig. 11. Comparison result of number of driving information

구간별 소요시간을 비교하기 위해 표 4의 환경에서 총 10회 실험하였다. 출발지에서 목적지까지의 경로에서 임의로 5개의 구간으로 나누고 각 구간의 소요되는 시간의 평균을 계산하였다.

표 4. 구간별 소요시간의 실험환경
Table 4. Experimental environments for elapsed time in sections

항목	실험환경
출발지	쌍용기술연구소 (대전)
목적지	유성온천역 (대전)
출발시간대	18:00 - 19:30
주행거리	약 5200m
누적된 주행정보	83개

실험 결과인 그림 12를 보면 A, B, D, E구간까지는 퇴근시대임에도 원활한 소통을 보여서 소요시간과 각 방법의 큰 차이가 없었다. 그러나 C구간에서는 현격한 차이를 보여준다. 실제 C구간의 경우 출·퇴근시간대에 상습정체구간이다. 기존의 방법에서는 교통상황을 고려하지 않으므로 예상소요시간이 실제 소요시간과 큰 차이를 보여주고 있다. 그러나 본 논문에서 제안하고 있는 방법은 과거의 주행정보를 이용하여 예상소요시간을 예측함으로써 실제소요시간과 유사한 정보를 제공하고 있다.

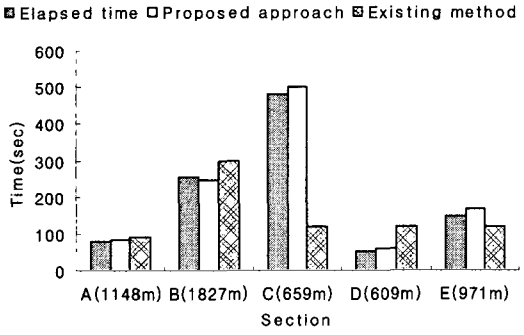

그림 12. 구간별 시간의 결과
Fig. 12. Comparison result of each section

TA* 알고리즘을 통해 상습정체구간인 C구간을 대체하는 최적의 경로를 탐색하여 표 5와 같이 C'구간을 계획하였다.

표 5. C와 C'구간의 비교
Table 5. Comparison of C and C'

	C구간	C'구간
실제소요시간	479	353
TA*	502	374
기존방법	120	348

기존방법의 C'구간은 C구간보다 예측시간이 길기 때문에 주행경로로 선정될 수 없다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하면 C구간 보다 C'구간의 예측시간이 짧으므로 최적의 경로로 계획할 수 있다. 실제소요시간을 측정한 결과 최적의 경로임을 확인할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 과거의 주행정보를 사용하여 교통상황을 고려한 최적의 경로를 계획하는 알고리즘을 개발하였다. 과거의 주행정보를 퍼지이론에 의해 분류하고, 베이지안 갱신 공식을 사용하여 시간대의 각 교통상황이 벌어질 확률을 계산한다. 출발지와 목적지를 기준으로 타원관심영역을 설정하고 타원영역에 존재하는 링크의 비용에 예측된 교통상황을 반영한다. Dijkstra와 A* 알고리즘의 융합을 통해 최적의 경로를 계획한다. 제안한 방법의 주행정보 개수에 따른 성능과 계획된 경로의 구간별 성능을 실제 도로 환경에서 실험하여 검증하였다.

본 논문을 통하여 비용이 발생하는 TTI 기반의 실시간 교통정보에 비하여 정확성은 떨어지지만 과거의 주행정보를 통해 교통상황을 예측할 수 있었고, 운전자의 경험을 반영한 경로를 계획할 수 있다는 결론을 도출하였다.

향후 연구로는 최근 주행정보와 오래된 주행정보에 서로 다른 가중치를 부여함으로써 변화된 교통상황을 고려한 교통예측 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고문헌

[1] N. Disange, "Development of RTTI (Real Time Traffic Information) within vehicle navigation systems," in Proceedings of Road Transport Information and Control Conference, pp. 11-16, Apr. 2000.

[2] S. Kim, M. E. Lewis, and C. C. White, III, "Optimal vehicle routing with real-time traffic information," IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 2, pp. 178 - 188, Jun. 2005.

[3] K. Manolis and D. Kwstis, "Mechatronics, intelligent transportation systems-travelers' information systems the case of a medium size city," in Proceedings of the IEEE International Conference, pp. 200-204, Jun. 2004.

[4] E. H. Mamdani, , S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller," International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, pp. 1-13, 1975.

[5] 장원석, 노창현, 이종식, "퍼지기반 Segment-Boost 방법을 통한 효과적인 얼굴인식," 시뮬레이션학회 논문지, 제 18권, 제 1호, 17-25쪽, 2009년 3월.

[6] T. Bayes, "An Essay Toward Solving a Problem in the Doctrine of Chances," Philos. Trans. R. Soc. London, 53, 370-418, 1763.

[7] J. Earman, "*Bayes Or Bust?: A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory*," MIT Press,1992.

[8] S. M. Cho, G. Kim, C. H. Ahn, S. I. Lee and H. J. Lee, "Transmission of Traffic Information Using a Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting System," ETRI Journal, vol. 28, pp. 364-366, Jun. 2006.

[9] EBU B/TPEG, TPEG Specifications, "*Part 1 : Introduction, Numbering and Versions*," TPEG-INV/002, draft, Oct. 2002.

[10] 이청원, 박지영, 고승영, "칼만 필터를 이용한 경로통행시간예측," 대한토목학회논문집 제 2권, 제 D호, 871-880쪽, 2002년, 9월.

[11] 이현조, 나하드 카림 초우더리 , 장재우, "규칙-기반 분류화 기법을 이용한 도로 네트워크 상에서의 주행 시간 예측 알고리즘," 한국콘텐츠학회 논문지, 제 8권, 제 10호, 76-87쪽, 2008년, 10월.

[12] E.W. dijkstra, "A note on two problems in connection with graphs," Numersche Mathematik, Vol.1, pp. 269-271, 1959

[13] P. E. Hart, N. J. Nilsson, B. Raphael. "Correction to A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum-Cost Paths," SIGART Newsletter, No. 37, pp. 28-29, Dec. 1972.

저 자 소 개

정 상 준

2005: 고려대학교 이학사
2009: 고려대학교 공학석사
2009-현재: LIG넥스원 주임연구원
관심분야: 이동로봇, 컴퓨터 비전, 주행 알고리즘

허 용 관

1991: 한양대학교 공학사
1997-2005: 도화종합기술공사
2006-현재: LIG넥스원 선임연구원
관심분야: 소프트웨어 공학, 데이터베이스

조 한 무

1995: 숭실대학교 공학사
1994-현재: LIG넥스원 선임연구원
관심분야: 임베디드 시스템, 실시간 운영체제

김 종 진

1995: 한국해양대학교 공학사
1995-현재: LIG넥스원 책임연구원
2009-현재: 충남대학교 석사과정
관심분야: 실시간 운영체제, 임베디드 시스템, 고장허용시스템

최 슬 기

2007: 한동대학교 공학사
2007-현재: LIG넥스원 연구원
관심분야 : 응용소프트웨어, 임베디드 시스템